

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO PRODUZIDO COM SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO GRAÚDO POR AGREGADO RECICLADO

Valmir Soares Viana (1), Daiane dos Santos da Silva Godinho (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)valmirsiana@hotmail.com (2) dss.engcivil@gmail.com

RESUMO

O setor da construção civil é um dos mais importantes no país, sendo grande gerador de empregos e renda. Porém, este setor consome uma grande quantidade de material durante o seu processo produtivo, ocasionando impactos diretos ao meio ambiente que aliados à escassez de recursos naturais, tem levado à busca de novas alternativas mais sustentáveis. Dentro deste contexto, inserem-se os resíduos da construção civil. Assim, este trabalho foi desenvolvido tendo como objetivo analisar a influência da utilização de agregados graúdos reciclados do tipo classe A para a produção de concretos. Para tanto, foram desenvolvidas três diferentes tipos de dosagens, sendo uma com 100% de agregados graúdos naturais em sua composição e outras duas com substituição parcial de 30% e 60%, por agregados reciclados. A influência dos agregados reciclados foi avaliada em laboratório através de ensaios de resistência após 28 dias de cura do concreto. Os resultados obtidos com a realização dos ensaios, sendo estes de resistência à compressão axial, tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, composição granulométrica e massa específica, foram apresentados em forma de gráficos e tabelas. O estudo da adição de agregados graúdos reciclados na produção de concreto apresentou-se viável do ponto de vista mecânico, porém deve-se salientar a existência de outras propriedades como forma e textura das partículas, absorção de água, durabilidade, desgaste por abrasão e teor de impurezas que devem ser analisadas e não foram abordadas neste trabalho.

Palavras-chave: Concreto, Resíduos da Construção Civil, Agregados Reciclados.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é um importante segmento da indústria, servindo de indicativo para o crescimento econômico e social do país. Contudo, a mesma constitui uma atividade geradora de impactos ambientais devido ao intenso consumo de recursos

naturais, além de que seus resíduos têm representado um grande problema para ser administrado. Segundo estudo realizado por Pinto (1999), a quantidade de resíduos gerados pela construção civil oscila entre 0,23 a 0,66 ton/hab/ano em algumas cidades brasileiras e de acordo com Marques Neto (2005) estes resíduos representam uma fatia entre 51 e 70% da massa dos resíduos sólidos municipais.

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002) nº 307, Art. 2º Inciso I: "Resíduos Sólidos da Construção Civil são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha".

Porém, quando não é dada uma destinação final adequada a estes resíduos eles acabam sendo depositados clandestinamente em terrenos baldios, áreas de preservação permanente, margens de rios e córregos, vias e logradouros públicos. Este destino inadequado vem gerando problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, pois esses resíduos contêm presença de material orgânico, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas que podem acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças, além do entupimento e assoreamento de cursos d'água, vindo a provocar as constantes enchentes ocorridas nos centros urbanos. (Portal resíduos sólidos, 2015).

Por esse motivo, a reciclagem dos resíduos da construção civil tem se mostrado uma boa alternativa para redução do consumo desordenado dos recursos naturais e dos impactos causados pelo grande volume de resíduos descartados a cada ano, além do aumento da vida útil dos aterros existentes.

Segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA 2002) nº 307, Art. 2º Inciso IV: "Agregado reciclado é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos de construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia".

Este estudo tem por objetivo analisar a influência da utilização de agregados graúdos reciclados do tipo classe A, coletados em uma usina de reciclagem de

resíduos da construção civil instalada no município de Criciúma desde dezembro de 2014, sendo que a mesma presta o serviço de recebimento, beneficiamento e comercialização do agregado reciclado (areia, brita e pedrisco). São objetivos específicos do estudo a avaliação das características físicas e mecânicas do concreto produzido com agregado reciclado, quanto sua resistência à compressão axial e tração por compressão diametral, módulo de elasticidade, determinação da massa específica e composição granulométrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Com o intuito de avaliar as propriedades dos concretos compostos com adição parcial de agregados graúdos reciclados da construção civil em substituição ao agregado natural (brita graduada), foram desenvolvidas três diferentes tipos de misturas, sendo uma com 100% de agregados graúdos naturais em sua composição e outras duas com substituição parcial de 30% e 60% por agregados reciclados. Para todas as dosagens, foi utilizado um teor de argamassa de 55% e um traço de 1: 4 em massa. A Tabela 1 apresenta os tipos de misturas e os traços unitários para execução dos ensaios.

Tabela 1: Tipos de concreto produzidos

Tipos de Misturas	Traço unitário (1:m - 1:a:p1:p2)						
	Relação água/cimento (a/c)	Cimento CP IV-32	Areia média	Brita	Agregado Reciclado (AR)	Aditivo (%)	Abatimento (cm)
Dosagem 1 (Referência)	0,42	1	1,75	2,25	-	-	11
Dosagem 2 (30% - AR)	0,42	1	1,75	1,58	0,67	0,60	0
Dosagem 3 (60% - AR)	0,46	1	1,75	0,90	1,35	2,90	0

Fonte: Autor, 2015.

Após passarem por um processo de secagem em estufa, os agregados naturais e os reciclados foram devidamente quantificados e separados conforme ilustrado na

Figura 1.a. O Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC) da própria universidade forneceu os seguintes materiais: agregado graúdo (brita graduada) e agregado miúdo (areia grossa lavada), sendo que estes atendem aos requisitos prescritos na norma NBR 7211:2009; o cimento Portland tipo CP IV-32; o aditivo superplastificante para concreto Tec Flow 8000 marca Rheoset, o qual é regulamentado pela norma NBR 11768:2011.

A usina de reciclagem 3R's Reciclagem de Resíduos da Construção Civil forneceu o agregado reciclado do tipo classe A, classificado pela resolução CONAMA nº 307, Art. 3º: "Classe A – são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios, etc.) produzidas nos canteiros de obra".

Foram então produzidos os concretos com o auxílio de uma betoneira mecanizada dentro das dependências do laboratório de materiais de construção civil (LMCC), sendo posteriormente moldados e adensados 15 corpos de prova cilíndricos de Ø10 x 20 cm para cada uma das misturas conforme ilustrado na Figura 1.b e o procedimento de acordo com a NBR 5738:2015,.

Figura 1 – Separação dos materiais e corpos de prova



a) Separação dos agregados b) Corpos de prova

Fonte: Do Autor, 2015.

Após 24 horas de repouso dos corpos de prova, tempo necessário para ocorrência do processo de endurecimento da argamassa, os mesmos foram desmoldados, identificados e colocados submersos num tanque com água por um período de cura por 28 dias para após este período serem retirados do tanque e devidamente selecionados pelo laboratorista para a realização dos ensaios previstos.

2.1 Determinação da Massa Específica do Concreto

A massa específica é a relação entre a massa do corpo de prova seco e o seu volume, sem considerar os poros permeáveis à água. Este procedimento tem por base a norma NBR NM 53:2009 e foram utilizados três corpos de prova para cada dosagem, sendo que os mesmos estavam submersos no tanque por um período de 28 dias.

Primeiramente os corpos de prova foram envolvidos individualmente em um pano absorvente para secagem, objetivando eliminar a água existente na superfície, ficando somente água nos poros. Após isto, cada corpo de prova foi pesado em uma balança hidrostática, obtendo-se assim seu peso úmido. O segundo passo necessitou que fosse adaptado um gancho embaixo da balança para que pudesse ser suspenso o corpo de prova em um cesto de arame de massa e volume conhecidos, submergir em água novamente a temperatura ambiente, o suficiente para que o volume do recipiente fosse completo com água e amostra, para que a pesagem do conjunto fosse feita e obtido o peso imerso. O terceiro e último passo foi colocar estes corpos de prova em estufa por um período de 24 horas, para novamente pesá-los e obter o peso seco. O valor numérico da massa específica é obtido pela divisão do peso seco pela operação de subtração do peso úmido pelo peso imerso.

2.2 Composição Granulométrica do Agregado Reciclado

A granulometria é um método de análise que visa classificar as partículas de uma amostra pelos respectivos tamanhos e medir as frações correspondentes a cada tamanho. Os ensaios foram efetuados obedecendo-se uma quantidade mínima de

material para cada determinação da composição granulométrica, conforme procedimentos da NBR NM 248:2003.

Após as amostras passarem por um processo de secagem em estufa e o devido resfriamento à temperatura ambiente, determinaram-se suas massas m_1 e m_2 . As peneiras limpas foram encaixadas, formando um conjunto com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, encaixando o fundo na base.

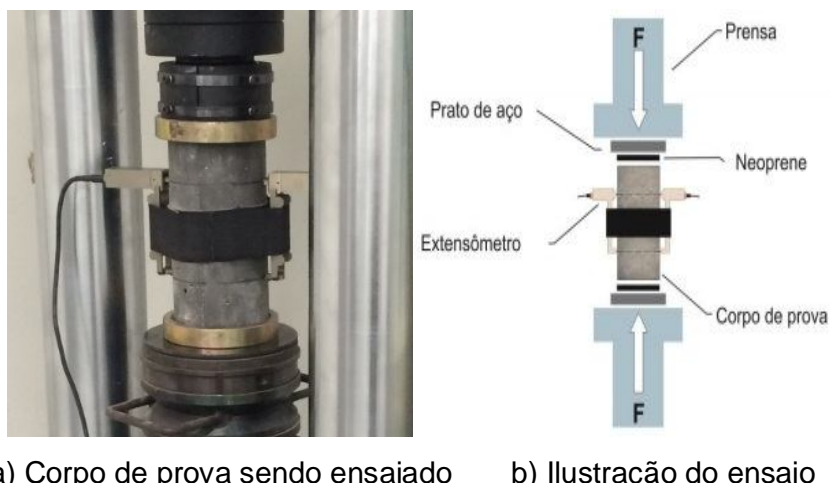
Colocou-se a amostra m_1 em partes na peneira superior, de modo a evitar a formação de uma camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras, evitando-se a deformação da tela e prejuízos ao peneiramento. Após foi feita a agitação do conjunto, determinando-se com o auxílio de uma balança hidrostática a massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto. O mesmo procedimento foi feito para a amostra m_2 . Com os resultados de pesagem, foram calculadas as porcentagens médias, retida e acumulada em cada peneira e determinação da dimensão máxima e do módulo de finura dos agregados.

2.3 Ensaio do Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade corresponde à inclinação da curva tensão versus deformação obtida quando um corpo de prova cilíndrico de concreto é submetido a um carregamento uniaxial de compressão com velocidade controlada. O método deste ensaio é determinado conforme as orientações da NBR 8522:2008, utiliza-se uma prensa hidráulica modelo PC200 CS com capacidade máxima de 2000 KN acoplada a um computador com software TESC – Test Script, conforme ilustrado na Figura 2 (a).

No entanto, para este ensaio foram utilizados extensômetros eletrônicos cuidadosamente fixados ao corpo de prova ensaiado com a ajuda de um cordão elástico, posicionados a 5 cm das extremidades do mesmo. Estes extensômetros têm por finalidade fazer a medição das pequenas deformações sofridas pelo corpo de prova, registrando-as simultaneamente em software. Depois de finalizado o procedimento de preparo, o corpo de prova foi posicionado tomando-se os mesmos cuidados do ensaio de resistência à compressão Figura 2 (b).

Figura 2 – Ensaio do módulo de elasticidade



a) Corpo de prova sendo ensaiado

b) Ilustração do ensaio

Fonte: Autor, 2015.

Iniciou-se o ensaio, primeiramente carregando-se o corpo de prova com uma carga de no máximo 30% da carga de ruptura, sendo este valor uma média dos resultados de todos os ensaios de resistência à compressão axial de cada dosagem, como prescrito no item A.3 do anexo A da NBR 8522:2008. As medições de força e tensão eram registradas no próprio software do ensaio e foram realizadas também em nove corpos de prova.

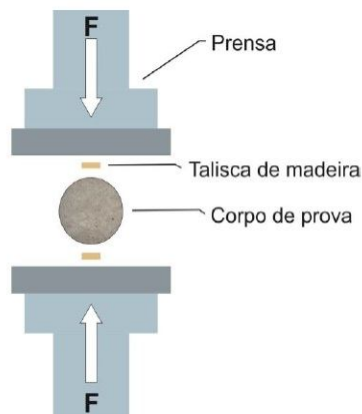
2.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de compressão diametral para determinação indireta da resistência à tração foi feito pela aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão em um cilindro, gerando ao longo do diâmetro solicitado tensões de tração uniformes perpendiculares a este diâmetro. Para a realização deste ensaio utilizou-se a mesma prensa hidráulica da marca EMIC, modelo PC 200, bem como os procedimentos descritos pela norma NBR 7222-2011.

Os procedimentos e quantitativos de amostras são os mesmos realizados no ensaio de compressão axial, porém neste o corpo de prova é fixado entre os eixos da prensa na posição horizontal com o auxílio de anteparos próprios da mesma e o uso de taliscas de madeira que além de ajudar na fixação, também servem para efetuar a distribuição uniforme da carga, conforme ilustrado na Figura 3.a. A carga de

compressão é aplicada de forma contínua até que ocorra a ruptura do corpo de prova por tração indireta conforme ilustrado na Figura 3.b.

Figura 3 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral



a) Ilustração do ensaio



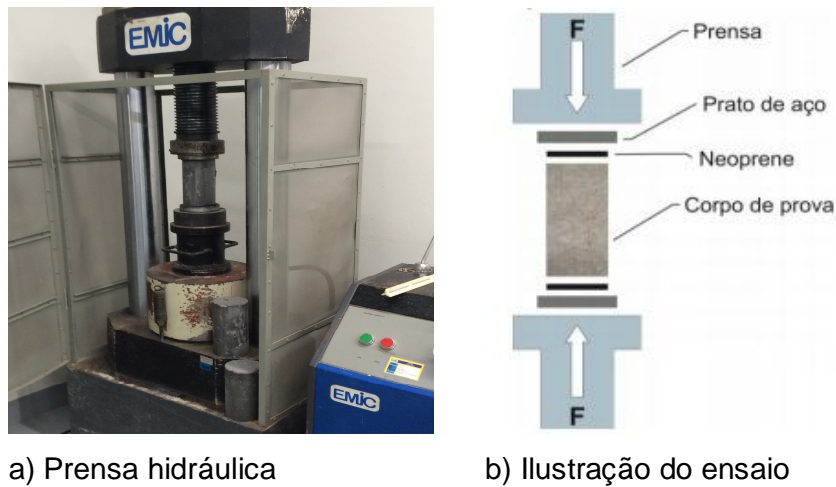
b) Ruptura do corpo de prova

Fonte: Autor, 2015.

2.5 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Segundo Mehta e Monteiro (2008), “a resistência de um material é definida como a capacidade para resistir à tensão sem se romper”. Na maior parte das estruturas, o concreto está submetido a esforços que resultam em tensões de compressão e este fato faz com que a resistência axial seja a propriedade mais avaliada para a verificação da qualidade de um concreto. O procedimento deste ensaio é descrito pela norma NBR 5739:2007 e se dá pela aplicação de uma força axial executada pelo eixo de uma prensa hidráulica. Neste foi usada uma prensa da marca EMIC, modelo PC 200 com capacidade máxima de 2000 KN (Figura 4.a).

Figura 4 – Ensaio de compressão axial



Fonte: Autor, 2015.

Para que houvesse uma regularização dos corpos de prova e melhor distribuição de aplicação da carga, as superfícies superior e inferior dos mesmos foram revestidas com neoprene e encaixadas nos pratos de aço, conforme ilustrado na Figura 4.b. Os corpos de prova foram cuidadosamente centralizados, conferindo assim uma maior eficiência no procedimento e confiança ao resultado.

Figura 5 – Ruptura do corpo de prova



Fonte: Autor, 2015.

O ensaio foi iniciado aplicando-se uma carga constante sobre o corpo de prova, sendo o mesmo finalizado quando percebido um decréscimo na carga aplicada, indicando a ruptura do corpo de prova conforme Figura 5. Os resultados dos ensaios foram registrados simultaneamente no software TESC – Test Script, em um computador anexo à própria prensa. Este procedimento foi efetuado em nove corpos de prova, sendo três amostras para cada uma das dosagens.

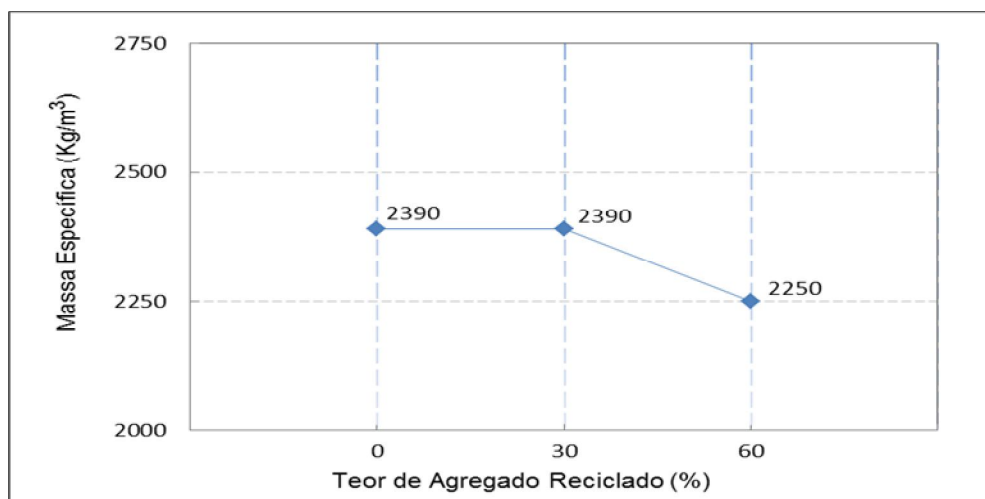
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresentam-se os resultados obtidos nos ensaios mecânicos mencionados anteriormente, permitindo avaliar as propriedades de resistência do concreto composto com a adição de agregados graúdos reciclados da construção civil em substituição parcial da brita graduada nos diferentes tipos de misturas.

3.1 Massa Específica dos Concretos

Ao analisar os dados do Gráfico 1, pode-se observar que os concretos com mesma relação água/cimento de 0,42, sendo o de referência e com adição de 30% de agregados reciclados permaneceram com o mesmo valor de massa específica, enquanto que os concretos com adição de 60% tiveram uma redução de 5,86%.

Gráfico 1 – Massa específica dos concretos



Fonte: Autor, 2015.

Levy apud Leite (2001), afirma que pode haver uma redução de 5% á 10% na massa específica do concreto reciclado em relação ao convencional, devido ao total de ar incorporado em concretos com material reciclado. Em seus estudos Leite (2001), observa que quanto maior o teor de substituição do agregado reciclado, menor será a massa específica do concreto, devido ao fato de o agregado reciclado possuir maior porosidade intrínseca. Além disso, o mesmo percebeu que a redução causada pelo agregado graúdo reciclado é muito maior que a redução causada pelo agregado miúdo, isto esta relacionado ao tamanho do grão, que quanto maior for maior será a porosidade.

3.2 Composição Granulométrica dos Concretos

Os resultados demonstraram que a composição granulométrica entre os agregados não apresentou variação quanto ao diâmetro, sendo que tanto o agregado graúdo natural quanto o agregado graúdo reciclado apresentaram um diâmetro máximo de 12,5 mm. No entanto, o módulo de finura do agregado graúdo reciclado ficou 9,21% menor que o módulo do agregado natural. Na Tabela 2 é demonstrado estes dados.

Tabela 2 – Granulometria do agregado graúdo natural e reciclado

Agregado graúdo natural			Agregado graúdo reciclado		
Peneiras (mm)	% Retido	% Retido acumulado	Peneiras (mm)	% Retido	% Retido acumulado
19	4	4	19	1	1
12,5	45	49	12,5	36	37
9,5	34	83	9,5	27	64
6,3	16	99	6,3	21	85
4,8	1	100	4,8	3	88
< 4,8	0	100	< 4,8	12	100
Dimensão máxima (mm)		19	Dimensão máxima (mm)		19
Módulo de finura		6,84	Módulo de finura		6,21
Classificação (NBR 7211-2009)		Brita 1	Classificação (NBR 7211-2009)		Brita 1

Fonte: Autor, 2015.

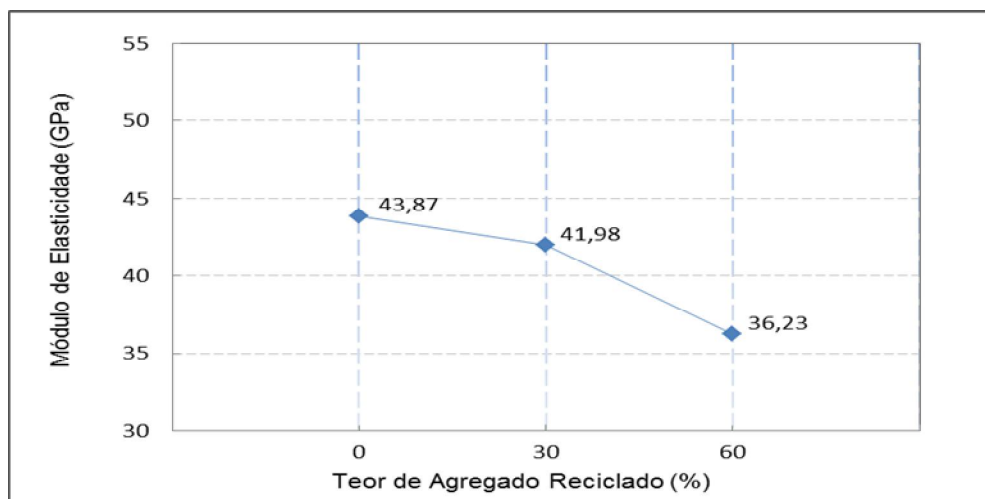
Leite (2001) relata em seus estudos que quanto maior o módulo de finura dos agregados, maior é o tamanho de suas partículas, diminuindo a superfície específica dos agregados e, por consequência a necessidade de pasta para lubrificar os grãos. Assim, a fração mais grossa do material reciclado necessita de mais água para molhar a sua superfície específica do que a superfície do agregado natural.

Segundo Cordeiro (2013), há diversos fatores que influenciam na granulometria do agregado reciclado, dentre eles destacam-se o tipo de resíduo processado, a relação água/cimento do concreto de origem beneficiado, o tipo e até mesmo a regulagem do equipamento utilizado para cominuição, bem como o tipo de sistema adotado para o peneiramento. Ou seja, a origem e o processo de produção do agregado tem influência sobre as suas características.

3.3 Módulo de Elasticidade

As características do módulo de elasticidade são importantes, pois medem sua capacidade de rigidez. Conforme se pode observar no Gráfico 2, houve uma redução do módulo de elasticidade das misturas com agregado reciclado em relação ao concreto de referência. A redução foi de 4,30% para os concretos com adição de 30% e de 17,42% para os concretos com adição de 60% (lembrando que nesta relação água/cimento é de 0,46).

Gráfico 2 – Módulo de elasticidade



Fonte: Autor, 2015.

Novamente verifica-se uma influência da relação água/cimento no módulo de elasticidade, pois o aumento desta relação provoca a diminuição do mesmo. Na maioria das vezes os concretos com agregados reciclados mostram-se mais deformáveis que os concretos com agregados naturais. Segundo Leite (2001, p.97),

“Este fato se deve à camada de argamassa antiga aderida à superfície do agregado reciclado de concreto e a maior porosidade dos materiais que compõem o resíduo e pelo fato de que o agregado reciclado – de concreto (30 GPa) – possui módulo inferior ao do agregado de basalto (70 GPa) influenciando desta maneira no módulo de elasticidade do compósito.”

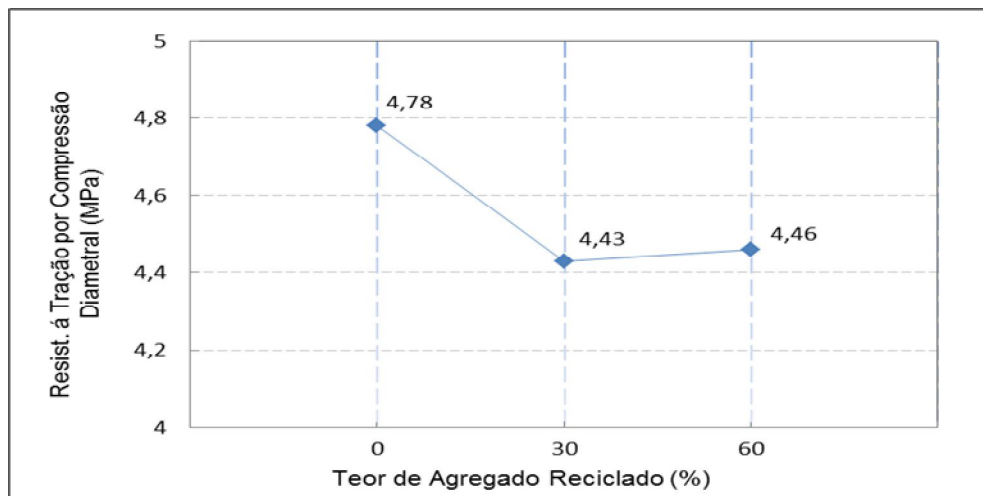
Ainda de acordo com Hansen apud Leite (2001), concretos com agregados reciclados apresentam em geral, uma redução entre 15% a 40% do módulo de elasticidade em relação aos concretos com agregados naturais. E mostra que a diferença aumenta à medida que crescem os valores da resistência à compressão. Segundo Levy apud Leite (2001), este fato se deve à camada de argamassa antiga aderida à superfície do agregado reciclado de concreto e a maior porosidade dos materiais que compõem o resíduo.

Mehta e Monteiro (2008) afirmam que quanto maior a quantidade de agregados densos numa mistura de concreto, maiores são os valores de módulo obtidos. Como os agregados reciclados são menos densos, conseqüentemente tem-se um concreto com um módulo de elasticidade menor.

3.4 Resistência à Tração por Compressão Diametral

Ao analisar os dados do Gráfico 3, pode-se observar uma redução da resistência à tração por compressão diametral nos concretos com agregados reciclados em relação ao concreto de referência. As reduções ficaram muito próximas, obtendo-se para o concreto com adição de 30% de agregados uma redução de 7,63% e 6,59% para os concretos com adição de 60% (lembrando que nesta relação água/cimento é de 0,46).

Gráfico 3 – Resistência à tração por compressão diametral



Fonte: Autor, 2015.

Em estudo realizado por Salem e Burnette (1998 apud Leite 2001), “a resistência à tração do concreto reciclado apresentou um incremento aos 7 dias e depois ocorreu diminuição aos 28 dias, quando os resultados foram comparados ao concreto convencional.” De acordo com os autores, Mehta e Monteiro consideram a existência de uma forte aderência física entre a pasta de cimento e a superfície rugosa do agregado nas primeiras idades, e que em idades mais avançadas, esta interação deixa de ter efeito e passa haver o efeito da interação química entre o agregado e a pasta de cimento, e segundo os autores, essa foi a explicação para que houvesse uma diminuição da resistência à tração do concreto reciclado em relação ao concreto convencional a estas idades.

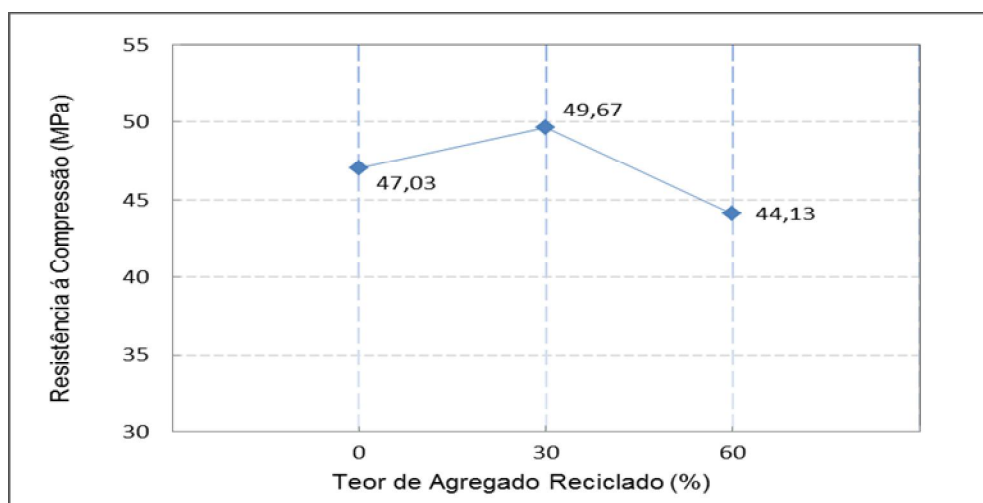
Leite (2001), ao analisar a interação entre a relação água/cimento e os agregados graúdos reciclados sobre a resistência à tração, identificou que os valores da resistência tendem a diminuir à medida que se aumenta o teor de agregados, porém com pequenas variações nos resultados.

3.5 Resistência à Compressão Axial

A resistência à compressão pode ser verificada de acordo com os resultados apresentados no Gráfico 4, onde se observa que em relação ao concreto de

referência, os concretos com adição de 30% de agregado reciclado e mesma relação água/cimento de 0,42 produzem um aumento de 5,61% em sua resistência, enquanto que os concretos com uma adição de 60% agregado reciclado houve uma redução de 6,17%, porém nesta a relação água/cimento usada foi de 0,46.

Gráfico 4 – Resistência à compressão axial



Fonte: Autor, 2015.

De acordo com Leite (2001), uma das melhorias dos agregados reciclados na resistência à compressão dos concretos, é que por possuírem um maior número de finos no contorno da superfície, podem reduzir a espessura da zona de transição entre os agregados e a pasta de cimento, podendo propiciar desta maneira uma melhoria nas propriedades mecânicas para concretos com a mesma relação água/cimento.

Em sua pesquisa, Vieira (2003) utiliza resíduos mistos e observa que a resistência à compressão passa a diminuir quando há uma substituição de mais de 50% dos agregados naturais pelos agregados graúdos reciclados. Ainda no mesmo trabalho, a autora observou que quanto maior a relação água/cimento e maior o teor de substituição dos agregados naturais pelos reciclados, menor é o valor encontrado para a resistência deste concreto. Da mesma forma, Ângulo (2000) aponta uma redução de resistência com o uso dos agregados graúdos mistos na faixa de até A massa específica de um agregado é um resultado que depende da sua porosidade.

Ângulo (2000) em seus estudos observou que há uma considerável variabilidade, quando os agregados apresentam alta taxa de absorção de água, são os mesmos que tendem a apresentar massa específica com valores menores. Em se tratando de dosagem de concreto, o uso de agregados reciclados com menor massa específica resulta num maior volume de agregados, quando são tomadas massas iguais de agregados naturais e reciclados. 40%, em relação ao concreto de referência e enfatiza que a resistência está condicionada pela relação água/cimento da pasta, que por sua vez é responsável pela porosidade da mesma.

Ainda, Leite (2001, p.173) ao abordar sobre o assunto, destaca que:

“Isso apenas comprova as leis de comportamento amplamente difundidas no meio técnico de que a resistência à compressão é inversamente proporcional à relação a/c. Com o aumento da relação a/c ocorre um enfraquecimento progressivo da matriz de concreto devido ao aumento da porosidade, e, assim, ocorre a diminuição da resistência.”

É possível observar esta tendência no Gráfico 1, pois ocorreu um aumento na resistência dos concretos com mesma relação água/cimento e posterior redução da resistência com o aumento desta relação.

4. CONCLUSÕES

Quando o assunto a ser tratado são os concretos que incorporam agregados reciclados da construção civil, não é possível generalizar os resultados obtidos pelas pesquisas realizadas no meio acadêmico, pois existem diferenças metodológicas e diferenças entre os agregados utilizados. Entretanto, considerando-se os objetivos deste trabalho e análise dos resultados obtidos, pode-se observar que:

- A resistência à compressão axial da dosagem contendo uma relação água/cimento de 0,46 e teor de agregados de 60% teve uma redução de 6,17% em relação à de referência, com relação água/cimento de 0,42. Observa-se que esta dosagem com agregados reciclados segue o comportamento estabelecido pela lei de Abrams, ou seja, quanto maior a relação a/c, menor é a resistência do concreto.
- A resistência à compressão dos concretos sofre influência do fator porosidade dos agregados. Quando utilizado os agregados reciclados nas dosagens, a

relação água/cimento e o teor de substituição dos agregados influenciam na porosidade da matriz, bem como na zona de transição.

- A relação água/cimento e o teor de agregados reciclados provocaram uma redução no módulo de elasticidade de 17,42% para a relação água/cimento de 0,46 e teor de 60%, e de 4,30% para a relação 0,42 e teor de 30%.
- A resistência à tração por compressão diametral seguiu a mesma tendência, uma redução de 6,69% para a relação água/cimento de 0,46 e teor de 60% e de 7,63% para a relação água/cimento de 0,42 e teor de 30%.
- A massa específica do concreto com 60% de substituição parcial dos agregados reciclados foi 5,86% menor que a massa específica do concreto de referência. A maior porosidade do agregado reciclado pode ser considerada um fator que veio á contribuir para esta redução.
- Quanto à composição granulométrica, os agregados reciclados e naturais obtiveram 19 mm para a dimensão máxima dos agregados e uma diferença de 9,21% entre o módulo de finura. O material estudado pode ser considerado um agregado graúdo do tipo brita 1, pois atende as especificações da norma NBR 7211:2009.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No sentido de contribuir para o aumento do conhecimento sobre o assunto abordado neste estudo, ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- realizar o estudo com diferentes relações água/cimento e teores de substituição de agregados naturais por agregados reciclados.
- ampliar este estudo para vigas de concreto armado, realizando ensaios de deformação, flexão e fissuração.
- realizar o estudo de outras propriedades do agregado reciclado, como forma e textura das partículas, absorção de água, desgaste por abrasão e teor de impurezas.

- analisar quais os tipos e a proporção de diferentes materiais presentes nos agregados reciclados.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático e de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248: Agregados – Determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768: Aditivos químicos para concreto Portland – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2011.

ÂNGULO, S. C. **Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolião reciclados**. 2000. 155p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução 307, de 05 de julho de 2002**: Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em:
<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30702.html>. Acesso em: 13 abril 2015.

CORDEIRO, L. N. P. **Análise dos parâmetros principais que regem a variabilidade de concretos produzidos com agregado graúdo reciclado de concreto**. 2013. 127p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HANSEN, T.C. **Recycled of demolished concrete and masonry**. London: Chapman & Hall, 1992. 316p. Part One: Recycled aggregates and recycled aggregate concrete, p. 1-160. (RILEM TC Report 6).

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2001. 270p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica – Universidade de São Paulo.

MARQUES NETO, José da C. **Gestão de Resíduos de Construção e Demolição no Brasil**. São Carlos: RIMA, 2005. 162 p.

MEHTA K. P.; MONTEIRO Paulo J. M. **Concreto, Microestrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo . IBRACON, 2008. 49 p.

PORTAL RESIDUOS SÓLIDOS. **Definição de resíduos da construção civil no Brasil**. Disponível em <http://www.portalresiduossolidos.com/definicao-de-residuos-da-construcao-civil-no-brasil/>. Acesso 13 abril 2015.

PINTO, T. de P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999. 189f.

SALEM, R. M.; BURDETTE, E. G. Role of chemical and mineral admixtures on physical properties and frost-resistance of recycled aggregate concrete. **ACI Materials Journal**, v. 95, n. 5, p.558-563, 1998.

VIEIRA, G. L. **Estudo do processo de corrosão sob a ação de íons cloreto em concretos obtidos a partir de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição**. 2003. 150p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.